

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh stolu pro rehabilitační cvičení
Design of Table for Rehabilitation Exercise

Student:

Jan Čech

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Hrudíčková Milena, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Čech**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 60 Průmyslový design
Téma: **Návrh stolu pro rehabilitační cvičení**
Design of Table for Rehabilitation Exercise

Zásady pro vypracování:

1. Navrhnete design stolu pro rehabilitační cvičení o nosnosti do 150 kg s možností nastavení pracovní výšky.
2. Proved'te rešerši v oblasti rehabilitačních stolů, stanovte hodnotící kriteria a na základě analýzy běžně dostupných stolů stanovte cíle své bakalářské práce.
3. Navrhnete minimálně 3 varianty designu rehabilitačního stolu, pro vybranou nejlepší variantu zpracujete návrh konstrukce s důrazem na stabilitu, včetně optimalizace umístění ovládacích prvků pohonu a specifikaci použitých materiálů.
4. Zpracujete ergonomickou rozvahu pro stanovení základních rozměrů stolu z hlediska pacienta i obsluhy, proved'te nezbytné pevnostní výpočty vybraných prvků konstrukce (bude upřesněno v průběhu řešení).
5. Vytvořte vizualizaci finálního návrhu a k obhajobě fyzický model vybrané části rehabilitačního stolu.
6. Bakalářská práce bude vyhotovená v souladu s požadavky a předpisy FS, výkresová dokumentace minimálně na formátu A1.

Seznam doporučené odborné literatury:

DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000.

BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů I - Spoje*. VUT Brno, 1987.

BOLEK, A. A KOL.: *Části strojů - svazek 1*. SNTL Praha, 1990.

NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.

KŘÍŽ, R.: *Strojnické tabulky II - Pohony*. Montanex a.s., Ostrava, 2002.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996.32s.

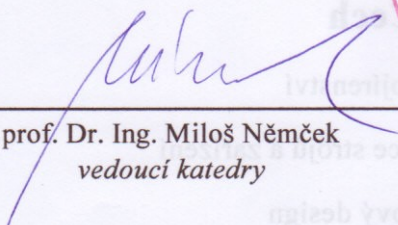
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Hrudíčková, Ph.D.**

Datum zadání: 17. 12. 2010

Datum odevzdání: 23. 5. 2011




prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem veškeré použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Jan Čech

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bratříkovice 77, okres Opava, 747 52

Anotace bakalářské práce

ČECH, J. *Návrh stolu pro rehabilitační cvičení: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2011, 38 s. Vedoucí práce: Ing. Hrudíčková Milena, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá tématem stolu pro rehabilitační cvičení. Rešerše je zaměřena na rozdělení stolů pro rehabilitační cvičení podle možnosti nastavení polohy jednotlivých dílů a podle pohonů umožňujících tato nastavení. V další části se zabývá požadavky na provedení stolu na rehabilitační cvičení, zjištění rozměrů z ergonomické studie. Dále se věnuje návrhům stolu formou skic, poté v grafických programech a reálnému modelu. Závěr bakalářské práce se věnuje popisu konstrukce stolu a výpočtům zadaných komponentů.

Annotation of Bachelor's Thesis

ČECH, J. *Design of Table for Rehabilitation Exercise: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2011, 38 s. Thesis head: Ing. Hrudíčková Milena, Ph.D.

This thesis deals with the theme table for rehabilitation exercises. Search is focused on the distribution tables for rehabilitation exercises, in accordance, positioning of parts and drives to allow according to these settings. The next section deals with requirements for implementation of rehabilitation exercises on the table, determine dimensions of ergonomic studies. Then we look at the draft table in the form of sketches, then in graphics programs and a real model. The conclusion of the thesis deals with description of the design table and calculations specified components.

Poděkování

Děkuji paní Ing. Mileně Hrudíčkové, Ph.D. a MgA. Petru Neničkovi za velmi užitečnou a odbornou pomoc, kterou mi poskytli při zpracování mé bakalářské práce.

Seznam použitých symbolů a zkratek

a, x, y, z	délkové parametry	mm
d	průměr	mm
g	gravitační zrychlení	m.s^{-2}
m_C	celková hmotnost	kg
m_I	hmotnost stolu	kg
m_P	hmotnost cvičence	kg
F	síla	N
F_M	síla motoru	N
K	statická bezpečnost	-
M_A	moment k bodu A	N.mm
M_O	ohybový moment	N.mm
Re	mez kluzu v tahu (tlaku)	MPa
S	plocha	mm^2
W_O	modul odporu průřezu v ohybu	mm^3
π	Ludolfovo číslo	-
σ_D	dovolené napětí v ohybu	MPa
σ_O	napětí v ohybu	MPa
τ_D	dovolené napětí ve smyku	MPa
τ_S	napětí ve smyku	MPa

Obsah

1. Úvod	10
2. Řešení - rozdělení	11
2.1. Dle druhu konstrukce	12
2.2. Dle materiálu konstrukce	13
2.3. Dle nastavitelných dílů	14
2.4. Příslušenství	17
3. Požadavky na provedení	18
4. Ergonomická studie	19
4.1 Studie výšky pracovní plochy	19
4.2 Optimalizace rozměrů pracovní plochy	20
4.3 Studie umístění ovládacích prvků	20
4.4 Tvarová studie otvoru pro obličej	21
5. Návrh koncepce řešení	22
6. Výběr nejlepší varianty	25
7. Vizualizace v grafických programech	26
7.1 Model v programu Catia 5	26
7.2 Model v programu Rhinoceros 4	27
7.3 Reálný model	29
8. Konstrukční řešení	30
8.1 Otvor pro obličej	30
8.2 Rám pod pracovní plochou	30
8.3 Otočné rameno	31
8.4 Výsuvná kolečka	32
8.5 Uchycení motoru	33
8.6 Táhla	33
9. Pevnostní výpočty	34
9.1 Návrh průměru čepu	34
9.2 Návrh motoru	36
10. Závěr	37
11. Seznam použité literatury	38
12. Seznam příloh	38

1. Úvod

Tato práce rozpracovává téma stolu na rehabilitační cvičení. Téma bylo vybráno na základě přímé konfrontace s ergonomicky nevyhovujícím stolem na rehabilitační cvičení. Po bližším prozkoumání nabídky trhu bylo zjištěno, že nabídka je dosti široká, avšak ne zcela vyhovující. Šíře nabídky se zaměřuje především na rozdílné možnosti nastavení poloh jednotlivých dílů stolu. Avšak v oblastech řešení umístění ovládacích prvků, stability a rozsahu zdvihu byly shledány zřetelné nedostatky.

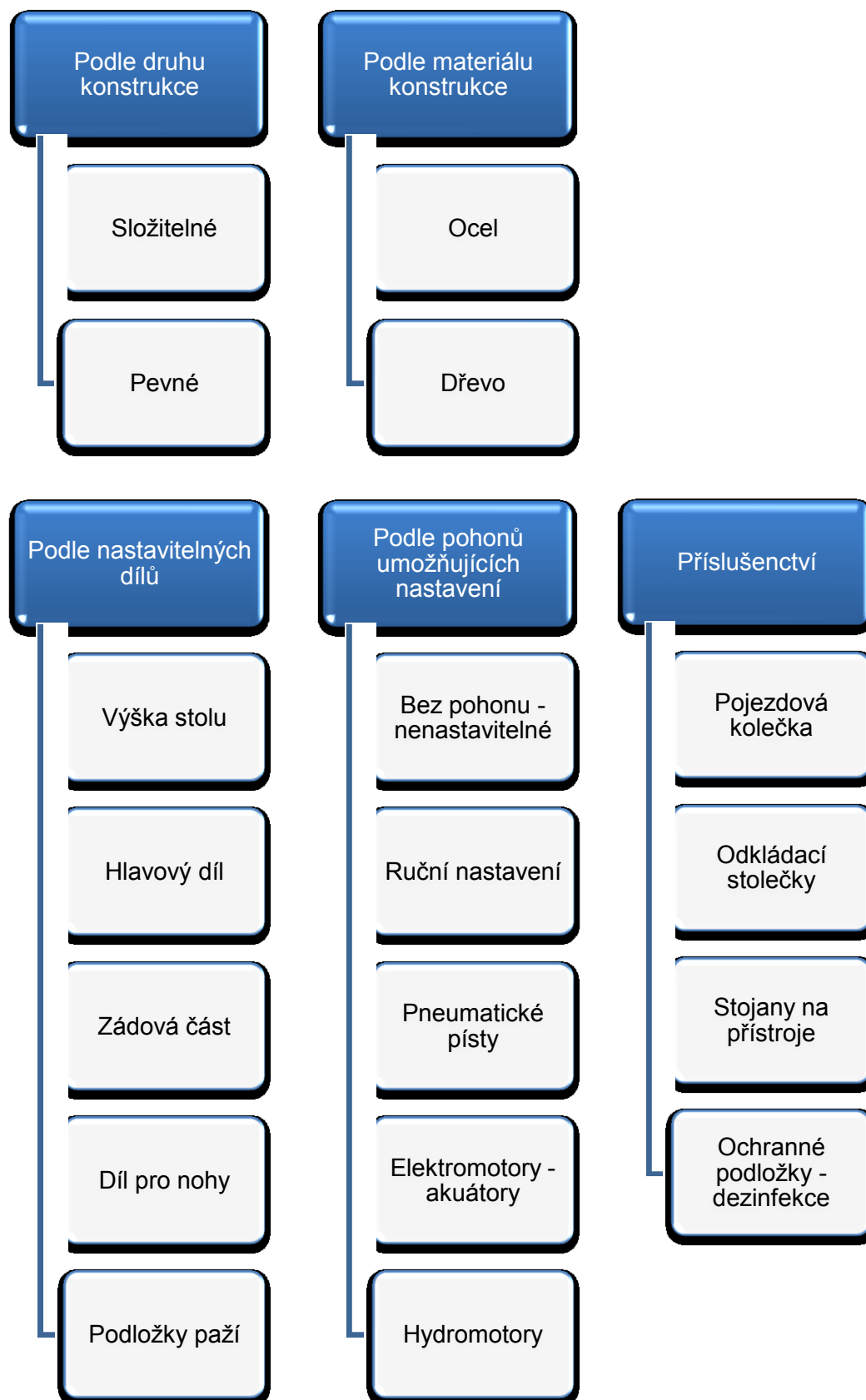
Cílem práce bylo navrhnout moderní řešení stolu na rehabilitační cvičení, který by splňoval požadavky trhu. Současně by tento stůl měl stmelit přednosti současných stolů a pokusit se odstranit jejich nevýhody.

V úvodní části práce byly sestaveny požadavky, které má stůl pro rehabilitační cvičení splňovat. Minimalizace zakopávání obsluhy o konstrukci stolu byl jeden z hlavních předpokladů k vyřešení. Stůl je primárně určen pro pacienty, kteří jsou schopni se přesunout na stůl pomocí vlastních sil anebo s malou pomocí obsluhy stolu. Tudíž bylo potřeba vyřešit možnost přesezení na pracovní plochu stolu i z nižších poloh například z invalidního vozíku. Další podmínkou bylo vyřešit mobilitu celého stolu pro přepravu a nainstalování na dané pracoviště, kde bude stůl používán. Doplňujícím požadavkem bylo, aby stůl obsahoval otvor pro obličej v pracovní desce při ležení na břiše.

V závěru práce byly sumarizovány poznatky z jednotlivých kapitol a postup při plnění stanovených cílů.

2. Rešerše - rozdělení

Stoly pro rehabilitační cvičení můžeme kategorizovat



2.1. Dle druhu konstrukce

Skládací

Stoly se složitelnou konstrukcí (obr. 2.1) mají výhody, že jsou lehké a snadno přepravitelné, ale s tím souvisí nevýhody - nižší nosnost a výšková nenastavitelnost.



Obr. 2.1 Skládací lehátko firmy Kaska

Pevné

Pevná konstrukce stolů (obr. 2.2) má značné výhody hlavně z hlediska tuhosti a celkové nosnosti stolu. U stolů s pevnou konstrukcí je možné využít pohonů pro zdvih pracovní plochy a dalších pohyblivých částí stolu. Dá se hovořit do jisté míry o nevýhodě z hlediska mobility, která je vykompenzována tím, že stoly s pevnou konstrukcí jsou primárně určeny pro provoz na jednom místě. Stoly mohou být také opatřeny pojezdovými kolečky, která zajišťují dostatečnou pohyblivost při přepravě na dané pracoviště.



Obr. 2.2 Rehabilitační lehátko Jordan typ F5e

2.2. Dle materiálu konstrukce

Ocel

Většina konstrukcí je tvořena ocelovými trubkami (obr. 2.3). Stoly jsou odolnější a variabilnější z hlediska použití pohonů a polohování jednotlivých částí.



Obr. 2.3 Lehátko pro Vojtovu metodu GE1

Dřevo

Dřevěná konstrukce (obr. 2.4) evokuje přírodní prostředí a napomáhá tak uvolnění při samotné rehabilitaci.



Obr. 2.4 Lehátko Comfort s dřevěnou konstrukcí

2.3. Dle nastavitelných dílů

Výška stolu

Nejdůležitějším aspektem je nastavitelná výška pracovní plochy stolu. Na trhu jsou nabízeny i stoly, které neumožňují výškové nastavení (obr. 2.5). Výška stolu může být nastavena například pomocí ručního šroubového zvedáku (obr. 2.6).



Obr. 2.5 Nenastavitelný stůl



Obr. 2.6 Stůl Jordan typ D1

Dále je nastavení výšky stolu realizováno prostřednictvím elektromotorů – aktuátorů (obr. 2.7, obr. 2.9) nebo hydraulických pohonů (obr. 2.8). Tyto pohony jsou vybaveny ovladači, prostřednictvím kterých se nastavuje požadovaná pracovní výška stolu.

Na trhu je k dispozici několik typů ovládání, můžeme je pro jednoduchost rozdělit na ovladače ruční (obr. 2.8) a ovladače ovládané nohou. Ovladače ovládané nohou umožňují obsluze mít volné ruce a více se věnovat pacientovi, což je obrovskou výhodou oproti ovládání ručním ovladačem. Ovládání nohou je většinou realizováno párem spínačů, nebo prostřednictvím kyvné tyče, která lemuje celou spodní část lehátka (obr. 2.7). Výhoda kyvné tyče oproti páru spínačů je v tom, že ovládání pracovní výšky stolu je možno realizovat po celém obvodu stolu. Ovládání pomocí kyvné tyče s sebou nese jedno úskalí a to, že obsluha ovládá výškový posuv v každé polovině stolu rozdílným směrem.



Obr. 2.7 Rehabilitační lehátko Jordan G3e



Obr. 2.8 Stůl GOLEM ANGIO

Hlavový díl

Díl podpírající hlavu může být napevno nebo polohován prostřednictvím plynové vzpěry vzhůru (obr. 2.9), ale i dolů pod horizontální rovinu. Hlavový díl bývá většinou opatřen otvorem pro obličej, který je v případě potřeby zakryt vyndavacím dílem.



Obr. 2.9 Rehabilitační lehátko Jordan B3e

Zádová část

Část podepírající oblast zad bývá z pravidla nenastavitelná (obr. 2.10) a tvoří tak pevnou část stolu. Rovněž může být nastavitelná elektromotorem do speciální drenážní polohy (obr. 2.11) a také pro polohy vsedě (obr. 2.12).



Obr. 2.10 Rehabilitační lehátko Jordan B3e prima



Obr. 2.11 Rehabilitační lehátko Jordan G3e



Obr. 2.12 Lehátko Jordan U4e

Díl pro nohy

Díl pro nohy je z horizontální polohy zvedán vzhůru převážně plynovou vzpěrou, popřípadě západkovým mechanismem (obr. 2.13).



Obr. 2.13 Dřevěné lehátko

Podložky paží

Podložky paží jsou realizovány ve dvou různých polohách. Buď lemuují zúžený hlavový díl (obr. 2.14), nebo jsou podél zádové části (obr. 2.15). Výškové nastavení podložek je prováděno pomocí svěrného spoje v žádané poloze.



Obr. 2.14 Lehátko Jordan F5e



Obr. 2.15 rehabilitační lehátko U7e



Obr. 2.16 Polohovací rehabilitační stůl

2.4. Příslušenství

Pojezdová kolečka

Kolečka primárně plní funkci členu, který umožňuje snadnější dopravu stolu na pracovní místo. U stolů na rehabilitační cvičení není provozem vyžadována permanentní mobilita stolu, proto jsou kolečka (obr. 2.15) převážně navrhována jako výsuvná, tak aby v případě ustavení stolu na pracovní pozici a zasunutí, nenesla žádné zatížení konstrukce stolu. O stabilitu stolu se tak stará samotný rám konstrukce.

Odkládací stolečky

V blízkosti stolu se v případě potřeby vyskytují i odkládací stolečky nebo plochy vyhrazené pro tuto funkci.



Obr. 2.17 Lehátko GE3 Classic

Ochranné podložky – dezinfekce

Pro udržení hygienického standardu stolu je v případě potřeby připojen nástavec s rolí ochranné podložky (obr. 2.17). Jednorázové hygienické ochranné podložky se skládají ze dvou vrstev buničiny, které umožňují dokonalou absorpci tekutin a polyetylénové fólie, která zabrání prosáknutí.

3. Požadavky na provedení

U stolu na rehabilitační cvičení se předpokládá, že pacient je schopen se přesunout na stůl za pomoci vlastních sil, anebo s nepatrnou pomocí obsluhy stolu.

Stůl by měl splňovat tyto podmínky:

- minimalizace možného zakopávání obsluhy o konstrukci stolu
- poměrně snadné přesunutí na pracovní plochu stolu z invalidního vozíku
- mobilita stolu pro přepravu a ustavení na dané pracoviště
- otvor pro obličej

Většina stolů na rehabilitační cvičení má zvedací mechanismus pro nastavení pracovní výšky řešen tak, že pracovní plocha stolu se zvedá a zároveň se posouvá do boku. Z pravidla je posunutí do boku totožné se zdvihem pracovní plochy. Při větších zdvích je s tímto faktem spojeno ztížení dosahu na ovládací prvky pro zdvih stolu a zároveň na protější straně stolu zvýšené riziko zakopávání o konstrukci.

Jedním z hlavních předpokladů je výškové nastavení stolu, které má umožnit v nejnižší poloze poměrně snadné přesunutí na pracovní plochu z invalidního vozíku a zároveň v nejvyšší poloze umožňovat co nejpohodlnější obsluhu cvičence.

Na trhu je vždy mobilita stolu realizována pojezdovými kolečky, ve všech případech jsou kolečka viditelná a tím se nevalně projevují do vizuální stránky stolu.

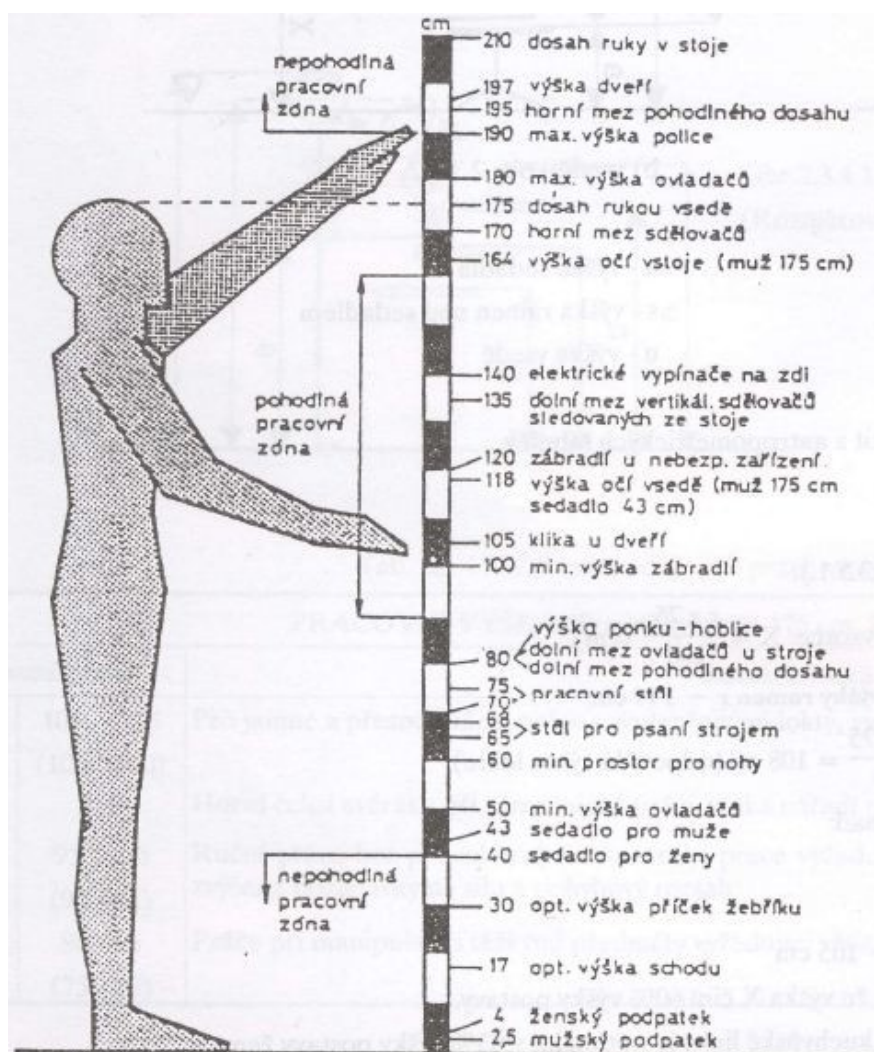
Drtivá většina stolů je vybavena otvorem pro obličej. Ve stejné části trhu je však navržen příliš malých rozměrů a tím nepříjemný pro cvičence.

4. Ergonomická studie

U stolů na rehabilitační cvičení můžeme rozdělit ergonomickou studii do čtyř oddílů. První oddíl se zabývá výškovým nastavením pracovní plochy stolu, druhý optimalizací rozměrů samotné pracovní plochy stolu, další umístěním ovládacích prvků a poslední se zabývá nejvhodnějším tvarem otvoru pro obličej.

4.1 Studie výšky pracovní plochy

Výška pracovní plochy musí být nastavitelná v takovém rozsahu, aby se v nejnižší poloze dokázalo poměrně snadno přesednout z invalidního vozíku a zároveň, aby v nejvyšší poloze měla i vzrostlá obsluha pohodlnou manipulaci se cvičencem. Při studii bylo vycházeno z výškového rozměru sedáku invalidního vozíku a z optimální výšky pracovní plochy při práci vestoje (obr. 4.1). Z uvedených údajů se došlo k závěru, že výškové nastavení stolu by mělo pokrýt výškový rozsah od 45 cm do 105 cm.

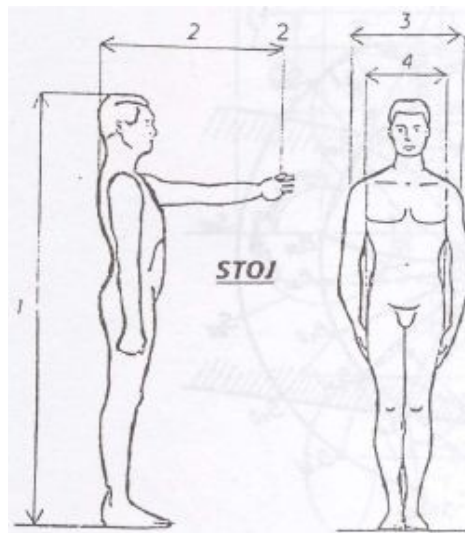


Obr. 4.1 Výškové údaje pro manipulaci vstoje

4.2 Optimalizace rozměrů pracovní plochy

Rozměry pracovní plochy vychází ze základních rozměrů lidské postavy. Délka pracovní plochy je závislá na výšce cvičence (obr. 4.2). Z důvodu neustálého zvyšování výškového průměru obyvatelstva bylo přidáno k tabulkové hodnotě (tab. 4.3) 5% hodnoty. Po uvedené úvaze by délka stolu měla být minimálně 1953 mm.

Šířka pracovní plochy musí zaručovat hlavně bezpečné otočení cvičence z polohy na břiše do polohy na záda, zároveň musí být pracovní plocha tak široká, aby obsluha pohodlně dosáhla alespoň do tří čtvrtin šířky pracovní plochy. Po zohlednění stejné úvahy jako u rozměru délkového bylo zjištěno, že šíře pracovní plochy bude optimálně v rozmezí 800 až 950 mm.



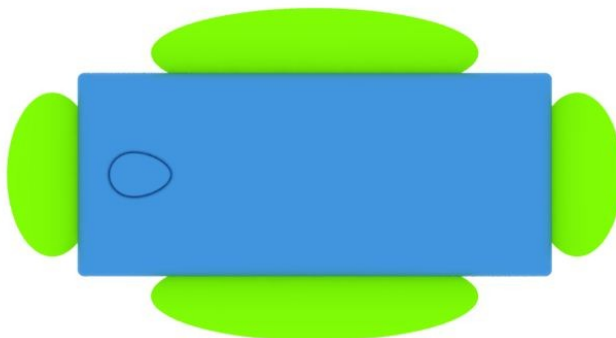
Obr. 4.2 Základní tělesné rozměry člověka

Základní hodnoty tělesných rozměrů pro střední Evropu (předpokládaný stav pro rok 2000)						
Rozměry (v mm)	Muži			Ženy		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
1 Výška vstojе	1670	1770	1860	1550	1660	1750
2 Délka předpažení (úchop)	800	850	890	740	800	840
3 Šířka ramen (akromion)	365	400	430	340	365	405

Tab. 4.3 Antropologické údaje

4.3 Studie umístění ovládacích prvků

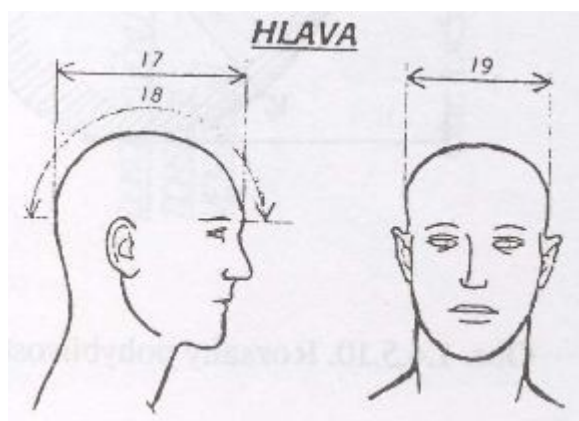
Ovládací prvky musí být umístěny tak, aby bylo možné ovládat výškové nastavení lehátka z jakéhokoli místa po obvodu stolu. Dále nesmí překážet obsluze v plynulém pohybu při obsluhování stolu. Zelené plochy okolo pracovní plochy stolu (obr. 4.4), znázorňují místa, kde se obsluha stolu nejčastěji nachází a odkud je důležité zajistit snadný přístup k ovládacím prvkům.



Obr. 4.4 Nejpoužívanější místa obsluhy

4.4 Tvarová studie otvoru pro obličej

Z důvodu široké různorodosti tvarů a velikosti lidských obličejů je takřka nemožné vyrobit jednu velikost otvoru, která by pasovala všem. Základní rozměry se dají odvodit z průměrných velikostí hlavy (obr. 4.5, tabulka 4.6). Skosením obvodové hrany otvoru se dá zajistit dostačující rozsah velikostí obličejů, které budou otvor pohodlně využívat.



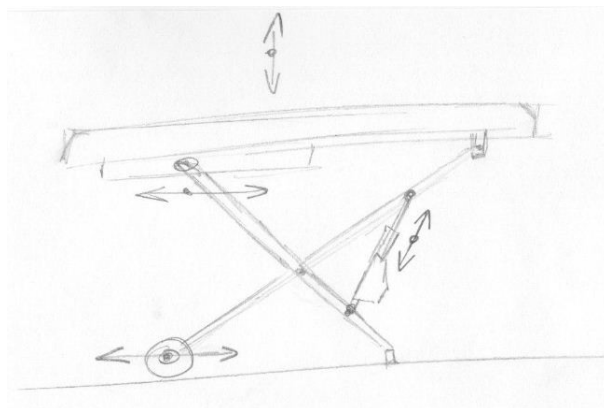
Obr. 4.5 Základní tělesné rozměry člověka

Základní hodnoty tělesných rozměrů pro střední Evropu (předpokládaný stav pro rok 2000)						
Rozměry (v mm)	Muži			Ženy		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
17 Délka hlavy	180	190	200	170	180	200
18 Obvod hlavy	540	575	600	520	550	590
19 Šířka hlavy	145	155	165	135	145	155

Tab. 4.6 Antropologické údaje

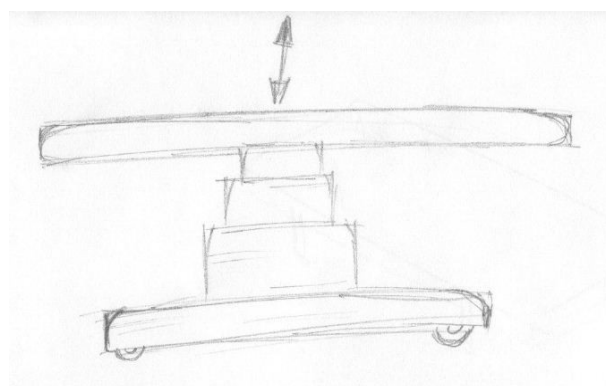
5. Návrh koncepce řešení

Nejprve jsem vycházel z konstrukce (obr. 5.1), která je realizována rameny do tvaru X. Tato konstrukce je jednoduchá a vizuálně ne moc zajímavá. Při velkém zdvihu pracovní plochy se konstrukce chová jako méně stabilní a to byl hlavní důvod, proč jsem odstoupil od této varianty.



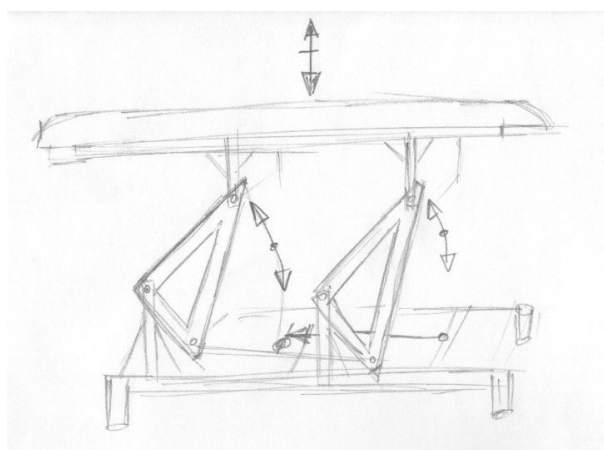
Obr. 5.1 Konstrukce tvaru X

Další řešení (obr. 5.2) je realizováno jednou masivní stojinou, která je teleskopicky vysouvána směrem vzhůru. Výškový posuv zajišťuje hydraulický motor. Touto konstrukcí není možné zaručit požadovaný výškový rozptyl. Povinnosti spojené s údržbou mě dále utvrdily v odstoupení i od této varianty.



Obr. 5.2 Teleskopická stojina

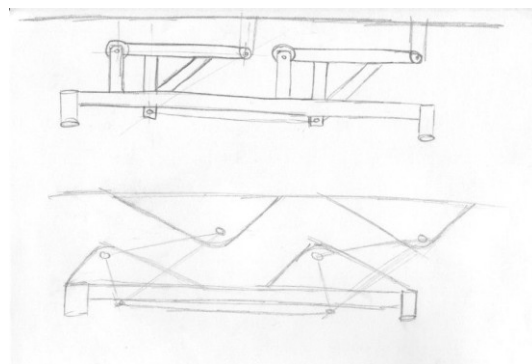
Další návrhy (obr. 5.3) se zaměřují na konstrukci, která se vyznačuje otočnými rameny. Ramena se otáčejí okolo pevné osy, která je ukotvena ve spodním rámu. Přední a zadní páry ramen jsou vzájemně spjaty táhly, čím je zaručena neustálá horizontální poloha pracovní plochy.



Obr. 5.3 Konstrukce s otočným ramenem

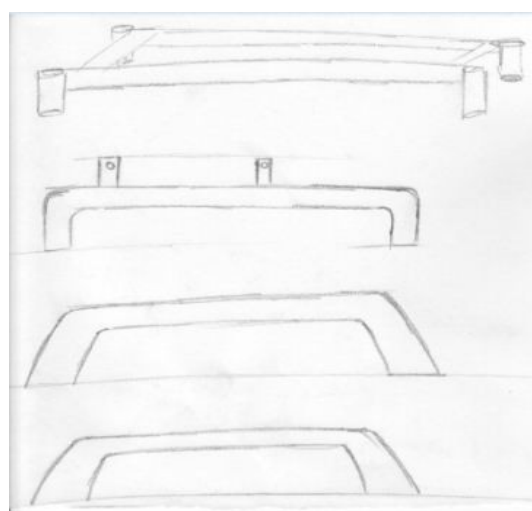
Tvarová studie spodního rámu – boční pohled

Po selekci základního druhu konstrukce jsem se zabýval tvarem a řešením spodního rámu z bočního pohledu. Spodní rám (obr. 5.4) plní funkci členu, který zajišťuje stabilitu stolu. Z tohoto důvodu musí být spodní rám dostatečně dlouhý a široký tak, aby nehrozilo převrácení a zároveň tak, aby nepřekážel obsluze. Eliminace zakopávání byla vyřešena předsazením pracovní plochy před spodní rám.

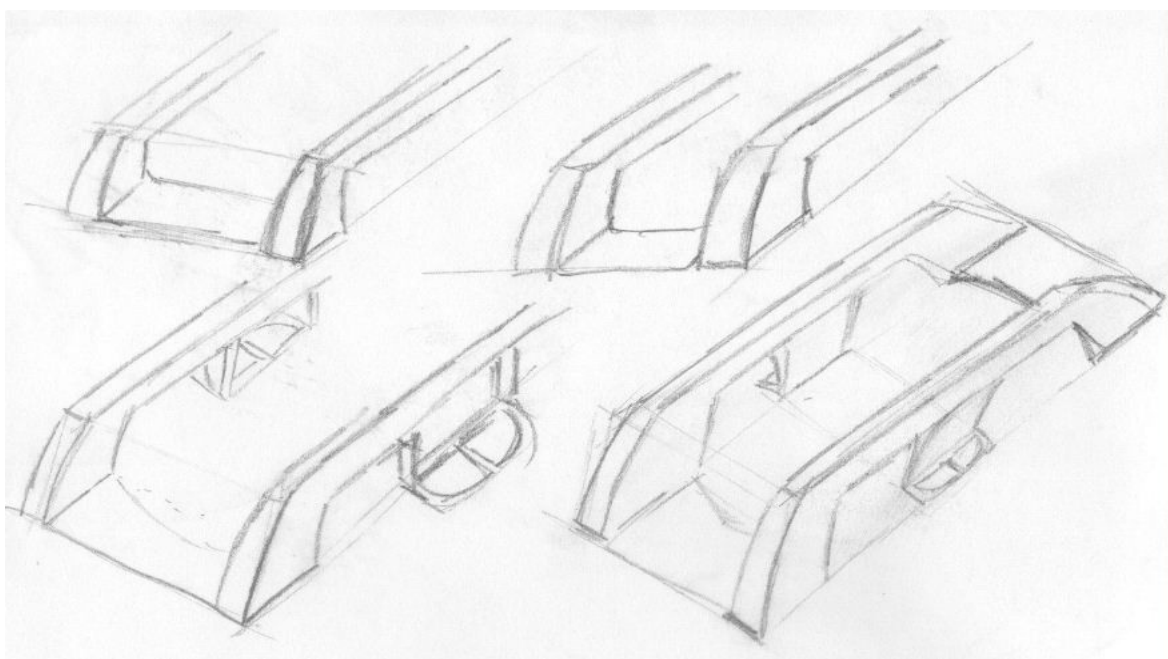


Obr. 5.4 Konstrukce - boční pohled

V této studii jsem se snažil najít optimální tvar, který vychází z jednoduchých linií a oblouků (obr. 5.5). Základní myšlenka byla pokusit se propojit lehkost rámu a potřebnou robustnost pro navození pocitu opravdu stabilního stolu.



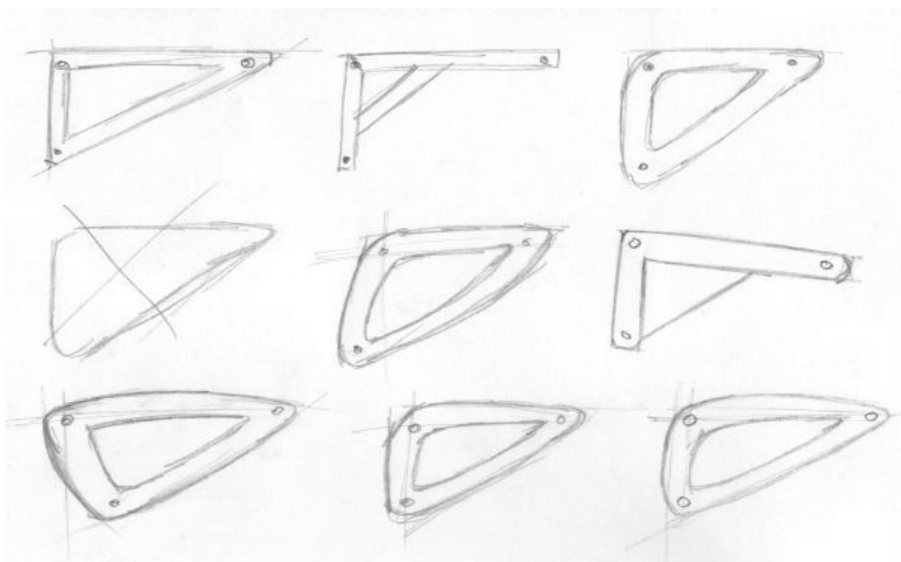
Obr. 5.5 Boční pohledy spodního rámu



Obr. 5.6 Spodní rám v perspektivě

Tvarová studie otočného ramena – boční pohled

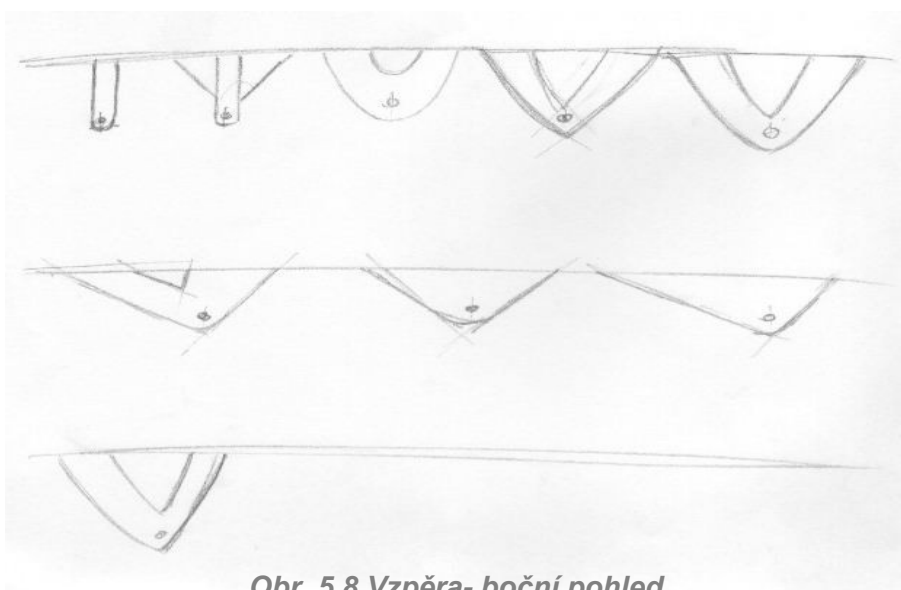
Základní tvar (obr. 5.7), ze kterého vycházím, je trojúhelník, který je vytvořen spojením os, kolem kterých se otáčí jednotlivé členy. Následný tvar je doladěn jednoduchými křivkami tak, aby výsledný tvar byl v harmonii s tvarem spodního rámu.



Obr. 5.7 Otočné rameno - boční pohled

Tvarová studie vzpěry – boční pohled

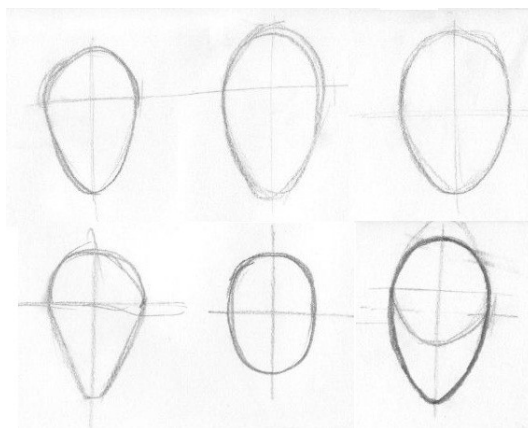
Vzpěra je část, která spojuje otočné rameno s rámem pod pracovní plochou. Základní návrhy vychází z jednoduchých linií a přechází do zaoblených tak, aby vizuálně podporovaly předchozí tvarové návrhy ostatních komponent.



Obr. 5.8 Vzpěra- boční pohled

Tvarová studie otvoru pro obličej – půdorys

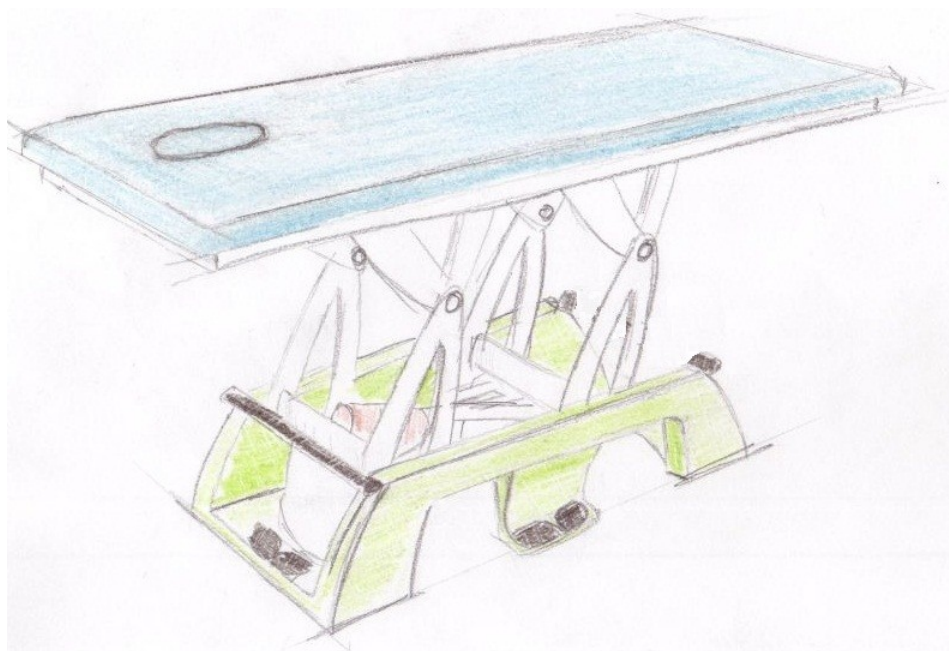
Podstatný pro tento návrh je tvar lidského obličeje. Vycházel jsem z prostých křivek a došel ke kombinaci půlkruhu a půl elipsy (obr. 5.8). Tvar je směrem do hloubky matrace postupně zužován a tím má snahu uspokojit širokou škálu různých tvarů obličejů.



Obr. 5.9 otvor pro obličej v půdorysu

6. Výběr nejlepší varianty

K závěrečné variantě (obr. 6) jsem se dopracoval postupným návrhem a eliminací předchozích variant řešení. Celý stůl má působit vzdušnou konstrukcí a zároveň jako stabilní zařízení. Konečná varianta konstrukce je realizována otočnými rameny. Tvary spodního rámu, ramen a vzpěr vykazují stejné obloukovité prvky, které tak propojují jednotlivé komponenty a tvoří z něj vizuálně zajímavý celek. Podobné obloukové prvky se projevují i ve tvaru ovládacích spínačů. Spodní rám tvoří jeden dutý svařený celek, v jehož útroběch jsou skryta vysouvací kolečka.



Obr. 6 Konečná varianta konstrukce v perspektivě

7. Vizualizace v grafických programech

7.1 Model v programu Catia 5

Tento model jsem vytvořil v programu Catia V5R18 (obr. 7.1, obr. 7.2, obr. 7.3). Je to plně propracovaný model se zásuvnými kolečky, otvorem pro obličej, čepy, pojistnými kroužky a dalšími komponenty. Celý model byl importován z programu Rhinoceros 4.0 a v programu Catia byli dodáni manekýni a pozadí, které dotváří celou scénérii.



Obr. 7.1 Vizualizace v programu Catia



Obr. 7.2 Vizualizace modelu v prostředí



Obr. 7.3 Model zakomponován do prostředí

7.2 Model v programu Rhinoceros 4

Prvotně jsem začal vytvářet model v programu Rhinoceros 4.0. Zde jsem propracoval model až do finální podoby, které předcházelo několikero návrhů. Následně byl celý model importován do dalších programů, kde byl jinak vizuálně ztvárněn.

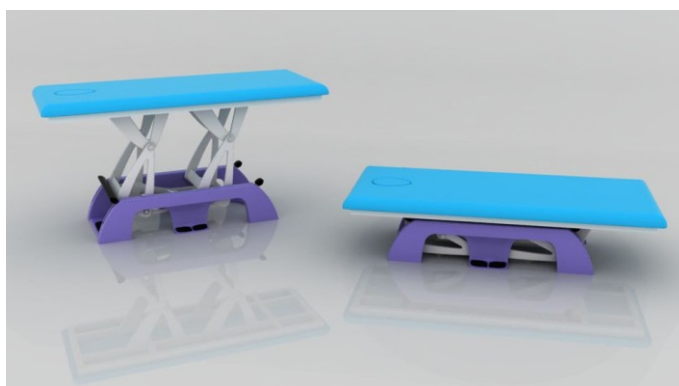


Obr. 7.4 Zelená varianta

Základní barevná kombinace vychází z již používané kombinace zelené a bílé (obr. 7.4), na ni navazuje červeno bílá varianta (obr. 7.5), která je klasicky používaná ve zdravotnictví. Třetí návrh (obr. 7.6) je kombinací světle modré a fialové.



Obr. 7.5 Červená varianta



Obr. 7.6 Modrá varianta

Finální návrh barevné kombinace (obr. 7.7) je realizován světle modrou a zelenou barvou, pohyblivé prvky mají barvu bílou. Členy, které mají funkci ovládací, jsou voleny kontrastně černé.



Obr. 7.7 Konečná barevná kombinace

Tuto barevnou kombinaci jsem volil se záměrem dopomoci navodit cvičenci příjemný pocit a uvolnit se tak při rehabilitačním cvičení. Tím tedy nepřímo napomáhat v lepší a rychlejší rekonvalescenci.



Obr. 7.8 Boční pohled konečné varianty

7.3 Reálný model

Reálný model byl vytvořen z balzy v měřítku 1:4. Nejprve jsem začal výrobou papírových šablon (obr. 7.9), pomocí kterých jsem z balzy (obr. 7.10) vyřezal lupenkovou pilkou požadované tvary o požadovaných tloušťkách.



Obr. 7.9 Papírové šablony



Obr. 7.10 Balza

Balza je příjemný přírodní materiál, který se dá dobře opracovávat a jako další výhodou je její nízká hmotnost. Vyřezané profily (obr. 7.11) jsem zbavil otřepů a zaoblil hrany. Následovalo spojení potřebných částí pomocí vteřinového lepidla. Finální povrchovou podobu dotváří speciální nažehlovací folie s požadovaným barevným odstínem.

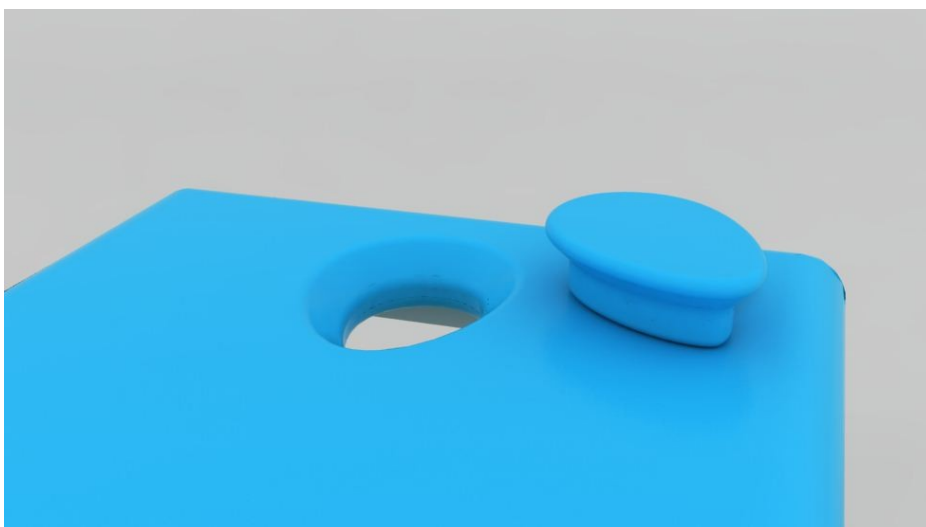


Obr. 7.11 Vyřezané profily z balzy

8. Konstrukční řešení

8.1 Otvor pro obličej

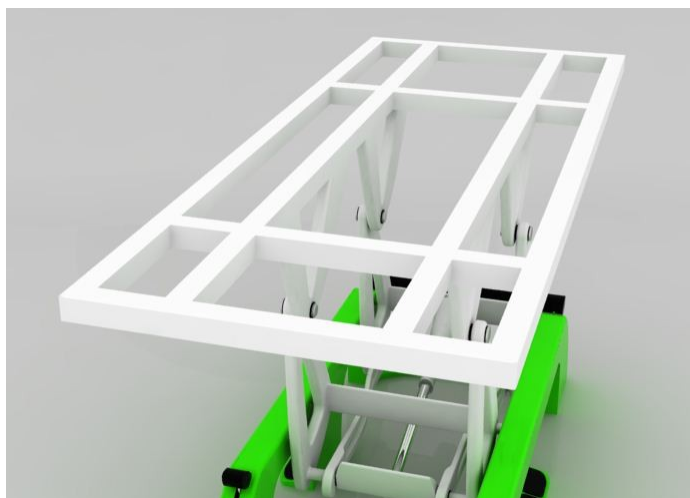
Otvor (obr. 8.1) pro obličej je realizován na jednom z konců pracovní plochy. Při zakrytí otvoru vyndavací ucpávkou je pracovní plocha rovná. Tvar otvoru a jeho zkosení jsem navrhoval tak, aby došlo k co možná největšímu pokrytí široké škály obličejů, které jej budou využívat. Ucpávka otvoru kopíruje tvar samotného otvoru tak, aby bylo možné ucpávku v případě potřeby jednoduše vytlačit zespoda. Ucpávka otvoru je tvořena z molitanu potahovaného umělou koženkou, která je dobře udržovatelná. Celá pracovní plocha je navíc jen doplněna o spodní vrstvu dřevotřísky.



Obr. 8.1 Otvor pro obličej

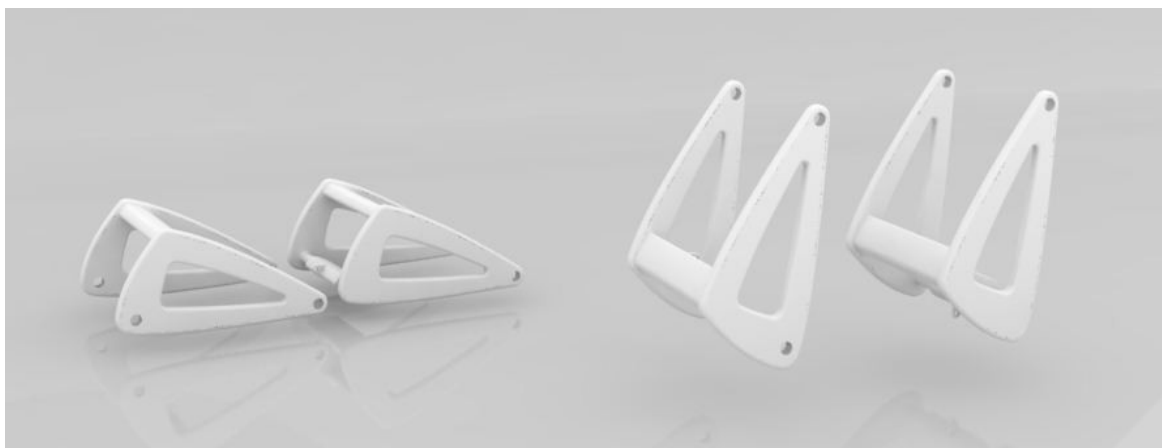
8.2 Rám pod pracovní plochou

Rám (obr. 8.2) je svařen z trubek čtvercového průřezu, použitý polotovár TR 4HR 50x3 materiál 11 523. K rámu jsou napevno přivařeny vzpěry, které jsou pomocí čepů připojeny k otočným ramenům.



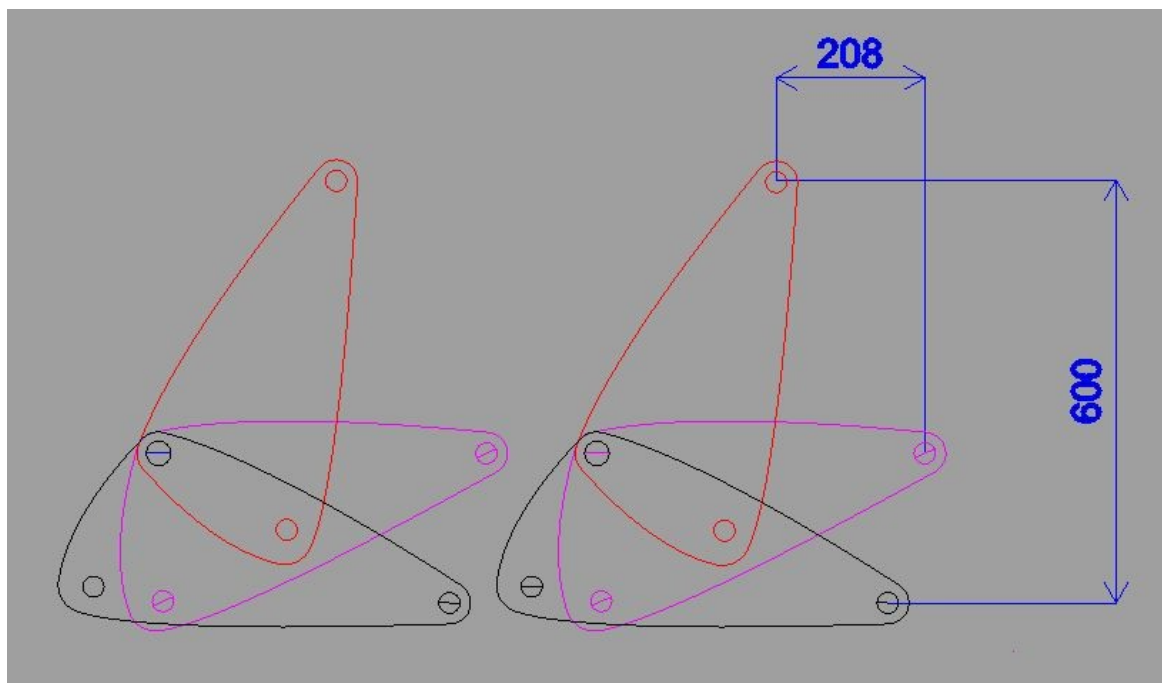
Obr. 8.2 Rám pod pracovní plochu

8.3 Otočné rameno



Obr. 8.3 Vizualizace otočných ramen

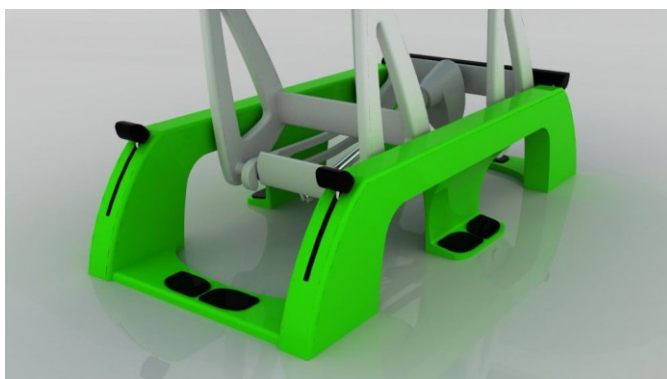
Otočná ramena (obr. 8.3) jsou svařena z dutých profilů z materiálu 11 523. Šířka jednotlivých profilů je 30 mm. Ramena se otáčí na poloměru 460 mm. Jsou zakomponována do konstrukce, tak aby byl minimalizován boční posun na 208 mm při zdvihu 600 mm (obr. 8.4).



Obr. 8.4 Schéma průběhu otáčení ramen

8.4 Výsuvná kolečka

Výsuvná kolečka jsou zabudována v dutém spodním rámu (obr. 8.5). Vysunutí kolečka je realizováno pomocí pootočení excentru (obr. 8.6) okolo osy čepu, který je uložen pomocí kluzného pouzdra ve spodním rámu stolu.



Obr. 8.5 Spodní část stolu

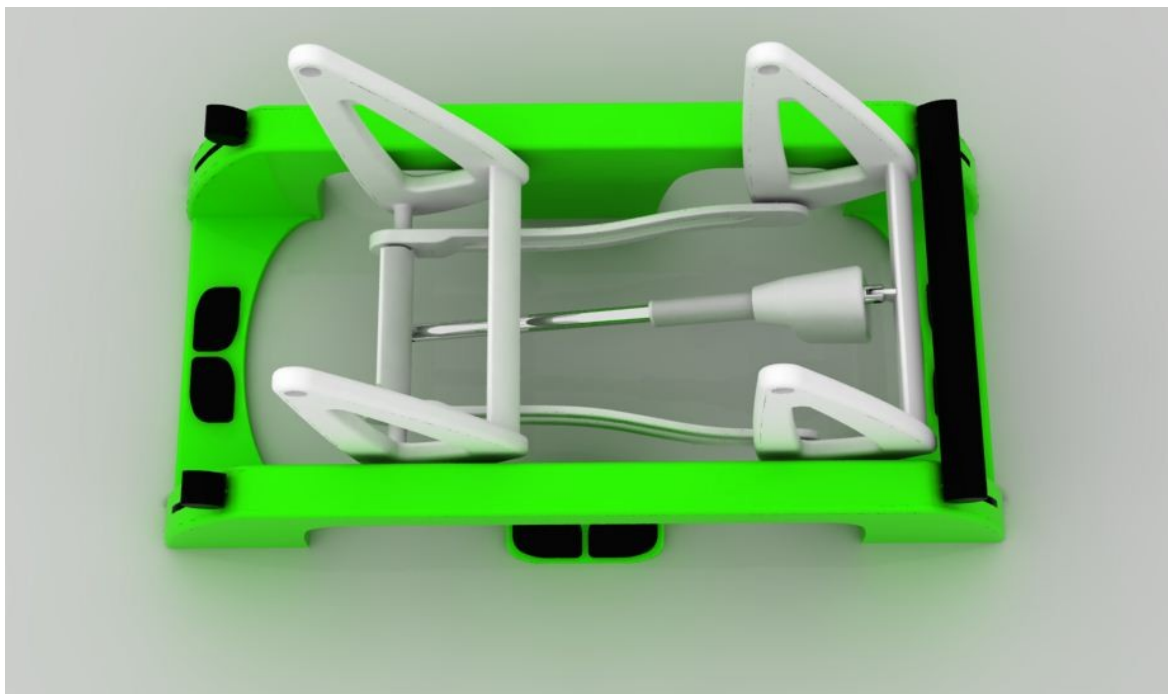
Koncové polohy páky jsou zajištěny rozmezím drážky ve spodním rámu. Kolečko má průměr 100 mm a je z tvrzené pryže. Směr vysouvání kolečka je zaručen bočním vedením ve spodním rámu stolu. Vysunutí kolečka je 40 mm. Osa kolečka a osa, kolem které se otáčí excentr, nejsou přímo nad sebou. Je tak do určité míry zajištěna poloha při vysunutí kolečka. Samotná váha stolu tak přispívá tomu, aby se excentr samovolně neotočil do zpětné polohy.



Obr. 8.6 Znázornění vysunutí kolečka

8.5 Uchycení motoru

Motor (obr. 8.7), konkrétně aktuátor typ LA 44, je uchycen pomocí čepů k otočným ramenům. Čepy nejsou pevnostně kontrolovány, jsou navrženy dle výrobce motoru na průměr 12mm z materiálu 16 240.7.



Obr. 8.7 Spodní část stolu pohled shora

8.6 Táhla

Pro zaručení funkčnosti celého mechanismu musí být vzájemně spojeny přední a zadní páry otočných ramen. Tuto funkci plní táhla (obr. 8.8), která mají specifický tvar tak, aby bylo možné propojit dané prvky. Samotná táhla jsou na jedné straně uchycena do otočného ramena pomocí čepu a na druhém konci je táhlo volně zaháknuté. Z průběhu sil a při zohlednění samotné hmotnosti táhla není třeba jej jinak pojišťovat.



Obr. 8.8 Vizualizace táhel

9. Pevnostní výpočty

9.1 Návrh průměru čepu

Čep (obr. 9.1) je součást, která spojuje rameno a vzpěru. Umožňuje, aby se rameno mohlo pootáčet a tím přenášelo tlačnou sílu a zvedalo pracovní plochu do požadované výšky.

Síla F je dána zatížením stolu, kdy počítám s hmotností 150 kg. Ve výpočtu předpokládám s nejhorší variantou a to, že zátěž stolu nebude rovnoměrná, ale bude působit plnou vahou pouze na jednu stranu stolu, tedy jen na jeden čep. Materiál čepu je 11 600 s mezí kluzu $Re = 295 \text{ MPa}$. Zvolena bezpečnost $K = 2,5$.

Čep je navrhován z rovnice pro ohybové napětí:

Návrhový výpočet průměru čepu je proveden pro předpoklad ohybového namáhání čepu. K tomu může dojít při velkých vřích v konstrukci spoje. V ideálním případě bude čep namáhán na střih a otlacení, což je příznivější namáhání z hlediska únosnosti čepu.

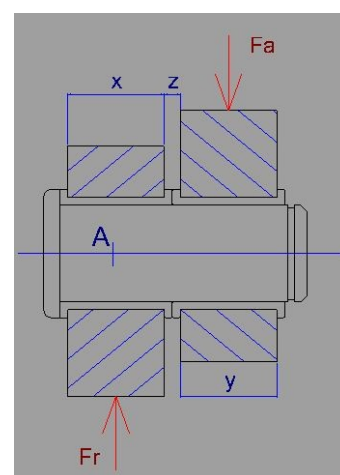
Ohybové napětí z ohybového momentu:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_D$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$M_o = Fa \cdot a = Fa \cdot \left(\frac{x}{2} + \frac{y}{2} + z\right)$$

$$\frac{F \cdot a}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_D \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{F \cdot a \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_D}}$$



Obr. 9.1 Schéma zatížení čepu

Dovolené napětí při statické bezpečnosti $K = 2,5$:

$$\sigma_D = \frac{Re}{K} = \frac{295}{2,5} = 118 \text{ MPa}$$

Zatěžující síla z vlastní hmotnosti lehátka a hmotnosti cvičence:

$$F = mc \cdot g = (ml + mp) \cdot g = (49,3 + 150) \cdot 9,81 = 1955,133 \text{ N}$$

Průměr čepu pak bude:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{F \cdot a \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt[3]{\frac{1955,133 \cdot 35 \cdot 32}{\pi \cdot 118}} = 18,076 \text{ mm}$$

Z důvodu požadované tuhosti i estetiky spojuj volím průměr čepu $d = 30 \text{ mm}$.

Kontrola na střih:

Smykové napětí, plocha smyku a dovolené napětí ve smyku dle hypotézy H-M-H

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_D \quad S = \frac{\pi \cdot d^4}{4} \quad \tau_D = \frac{0,566 \cdot Re}{K} = \frac{0,566 \cdot 295}{2,5} = 66,788 \text{ MPa}$$

Výpočet průměru čepu ze smykového napětí:

$$\frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^4}{4}} \leq \tau_D \Rightarrow d \geq \sqrt[4]{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 1955,133}{\pi \cdot 66,788}} = 6,105 \text{ mm}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot a}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{1955,133 \cdot 35}{\frac{\pi \cdot 30^3}{32}} = 25,81 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^4}{4}} = \frac{1955,133}{\frac{\pi \cdot 30^4}{4}} = 3,07 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$$

Redukované napětí dle H-M-H při kombinaci smykového i ohybového napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_s^2} = \sqrt{25,81^2 + 3 \cdot 0,00307^2} = 25,81 \text{ MPa}$$

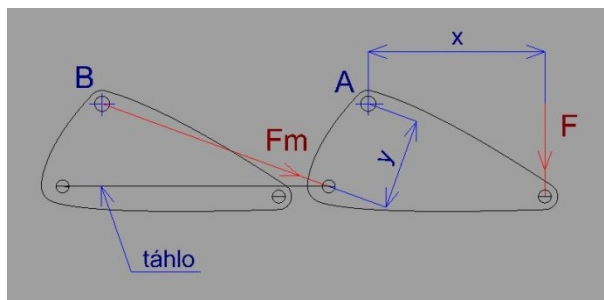
Statické bezpečnost k mezi kluzu materiálu čepu je:

$$K = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{295}{25,81} = 11,42$$

Z kontroly je patrné, že navržený čep vyhovuje. Zbylé čepy jsou navrženy totožně z toho důvodu, že už při výběru zatížení čepu bylo uvažováno s nejhorší možnou variantou zatížení.

9.2 Návrh motoru

Motor jsem volil podle zatěžující síly, kterou bude muset být schopný vyvodit. Z geometrie konstrukce nebylo na první pohled patrné, ve které poloze bude zatěžující síla největší. Proto jsem zvolil tři specifické polohy (obr. 9.2, obr. 9.3, obr. 9.4), u kterých jsem z rovnice momentové rovnováhy vypočítal potřebnou sílu motoru.



Obr. 9.2 Spodní krajní poloha

Krajní poloha ve složeném stavu:

$$\sum M_A = 0 \quad F \cdot x - F_m \cdot y = 0 \Rightarrow F_m = \frac{F \cdot x}{y} \quad F_m = \frac{F \cdot x}{y} = \frac{2519,7 \cdot 408}{208} = 4942,48 N$$

$$F = mc \cdot g \cdot K = (ml + mp) \cdot g \cdot K = (83,5 + 150) \cdot 9,81 \cdot 1,1 = 2519,7 N$$

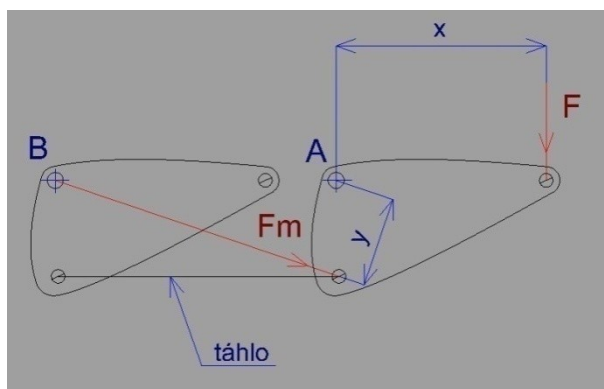
Rozměry x a y vychází z konstrukčního návrhu. Možné 10% přetížení je zahrnuto v bezpečnosti K=1,1.

Horizontální poloha ramena:

$$\sum M_A = 0$$

$$F \cdot x - F_m \cdot y = 0 \Rightarrow F_m = \frac{F \cdot x}{y}$$

$$F_m = \frac{F \cdot x}{y} = \frac{2519,7 \cdot 460}{197} = 5883,56 N$$



Obr. 9.3 Horizontální poloha

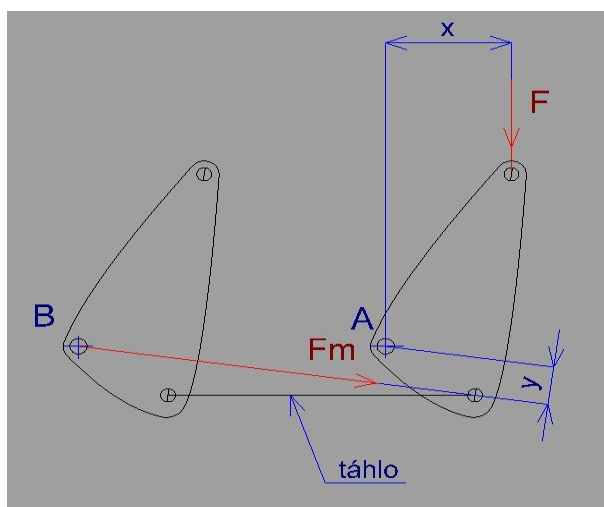
Krajní poloha v horní pozici:

$$\sum M_A = 0$$

$$F \cdot x - F_m \cdot y = 0 \Rightarrow F_m = \frac{F \cdot x}{y}$$

$$F_m = \frac{F \cdot x}{y} = \frac{2519,7 \cdot 252}{84} = 7559,1 N$$

Z daných výpočtů je patrné, že motor musí disponovat minimálně silou F=7600N a to pro tah, tlak i při rovnovážné poloze. Volím aktuátor od firmy LINAK C&S s.r.o. typ LA 44 se silou 14kN.



Obr. 9.2 Horní krajní poloha

10. Závěr

Úvod práce se věnuje stávajícímu trhu se stoly na rehabilitační cvičení. Zaměřuje se na jejich rozdělení podle druhu konstrukce, použitých materiálů, nastavitelných dílů a příslušenství. Klade důraz na výhody a nevýhody daných řešení.

Dále se práce zabývá ergonomickou studií, ve které jsou zkoumány potřebné rozsahy výškového nastavení i velikosti pracovní plochy. Dále se věnuje optimalizaci rozměrů pracovní plochy a umístění ovládacích prvků stolu. Ergonomická studie je zakončena se zaměřením na tvar otvoru pro obličej.

Následuje návrh koncepce řešení, kde prvotní návrh vychází z již existujících stolů na trhu. Následně jsou návrhy zdokonalovány a postupně eliminovány. Návrhy se zabývají nejprve celkovým mechanismem stolu a poté jednotlivými komponenty. Výsledné tvary komponentů jsou kombinací oblouků a jednoduchých linií vycházejících převážně z trojúhelníku.

V další kapitole jsou představeny vizualizace modelu vytvořené v programu Catia 5 a Rhinoceros 4.0. Prvotní návrhy modelů byly tvořeny v programu Rhinoceros 4.0 a dovedeny až do konečné podoby, poté byla finální verze importována do programu Catia 5 prostřednictvím formátu IGS. Výsledné vizualizace jsou tvořeny pomocí programu V-Ray. V průběhu práce byl tvořen reálný model z balzy.

Dále je popsáno řešení jednotlivých komponentů stolu, jejich mechanické vlastnosti a materiálové řešení.

Ve výpočtové části byl proveden návrh čepu, který spojuje vzpěru s pohyblivým ramenem a návrh motoru potřebného k realizaci výškového nastavení.

Cílem práce bylo navrhnout moderní řešení stolu na rehabilitační cvičení, který by splňoval požadavky trhu. Provést rešerši z dané oblasti. Vytvořit minimálně 3 návrhy designu stolu, pro vybranou nejlepší variantu zpracovat návrh konstrukce s důrazem na stabilitu, včetně optimalizace umístění ovládacích prvků pohonu a specifikaci použitých materiálů. Zpracovat vizualizaci finálního návrhu a provést nezbytné pevnostní výpočty vybraných prvků konstrukce. Jejich splnění bylo popsáno v předchozích odstavcích.

11. Seznam použité literatury

- (1) Leinveber, J., Vávra, P.: *Strojnické tabulky – první vydání*. Alba Úvaly, 2003. ISBN 80-86490-74-2
- (2) Drastík, F.: *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu-druhé doplněné vydání*. Montanex Ostrava, 1999. ISBN 80-85780-95-X
- (3) Noháč, F.: *Části a mechanismy strojů I- druhé doplněné vydání*. Vysoké technické učení v Brně, 1984.
- (4) Král, M.: *Ergonomie a její technické využití v praxi II. Alexandr Vávra- VAVA Ostrava, 1998. ISBN 80-86168-04-2*

Použité internetové odkazy

- (1) <http://www.resi.cz>
- (2) <http://kaskaservis.cz/>
- (3) <http://www.kovovynabytek.cz>
- (4) <http://www.audy.cz>
- (5) <http://www.rousek.eu>
- (6) <http://www.medhelp-shop.cz>
- (7) <http://www.zdravotni-obchod.cz>

Použité grafické programy

- (1) Rhinoceros 4.0, renderovací modul V-RAY
- (2) Catia 5

12. Seznam příloh

- (1) Výkres sestavení REHABILITAČNÍHO STOLU č.v. CEC-185-FS-01
- (2) Výrobní výkres ČEPU č.v. CEC-185-FS-01-12